

カーボンリサイクル 3C イニシアティブ プログレスレポート

2020 年 10 月

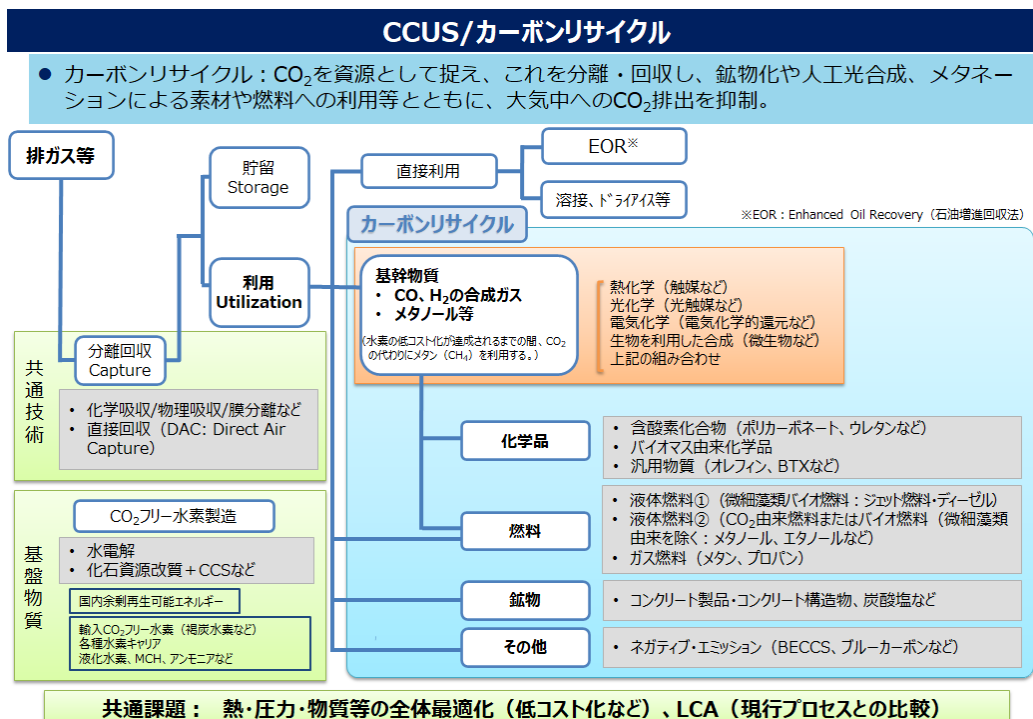
**経済産業省
新エネルギー・産業技術総合開発機構**

1. はじめに

世界のエネルギーを取り巻く情勢は、大きな変化を迎えている。とりわけ、地球温暖化問題に対する世界的な意識が高まっており、パリ協定の発効により、地球温暖化対策へのモメンタムが一層強くなっている。一方、世界には電力へのアクセスがない人々が、未だに約 10 億人いる。世界のエネルギー需要は、電力アクセスの改善や経済成長に伴い、アジアを中心に今後も増加すると予測される。エネルギーの安定的かつ安価な供給を確保しつつ、非連続なイノベーションを通じて環境と成長の好循環を実現することが、我々に与えられた大きな課題である。

この課題解決に当たり、あらゆる選択肢を追求していく必要がある。こうした中、省エネルギーや再生可能エネルギー等と並ぶ重要かつ有望な手段の一つとして、カーボンリサイクルがある。カーボンリサイクルとは、CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、燃料や原料として再利用していく取組である。カーボンリサイクルに取り組むべき理由としては、①直接的に温室効果ガスの削減に貢献できる、②水素や再生可能エネルギーの活用を通じて、これら関連技術と相乗効果がある、そして③多様な業種が、それぞれの事業分野で既存インフラを活用して取組が可能な点が挙げられる。

このモメンタムを加速すべく、日本は 2019 年 9 月、第 1 回カーボンリサイクル産学官国際会議を開催し、その場において「カーボンリサイクル 3C イニシアティブ」を策定した。これに基づき、産学官における国際連携を通じて、カーボンリサイクル技術の開発・実用化を進めている。本レポートでは、カーボンリサイクル技術を巡る概況、そして同イニシアティブに基づく取組状況を発信し、各国パートナーと共有し、次なる一歩につなげていく。





2. カーボンリサイクル 3C イニシアティブの進捗

(1) カーボンリサイクル 3C イニシアティブの概要

① カーボンリサイクル 3C イニシアティブの目的

前述のとおり、日本は、2019年9月、カーボンリサイクル技術の開発・実用化を、国際連携を通じて加速すべく、「カーボンリサイクル 3C イニシアティブ」を策定した。同イニシアティブは、昨年6月に「G20 持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合」で公表された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」(以下、「技術ロードマップ」)に基づき、イノベーションを加速していく取組である。

② カーボンリサイクル 3C イニシアティブの概要

カーボンリサイクル 3C イニシアティブは、技術ロードマップに基づいてイノベーションを加速すべく、3つのアクション、すなわち、①相互交流の推進(Caravan)、②実証研究拠点の整備(Center of Research)、そして③国際共同研究の推進(Collaboration)で構成される。

第一に、相互交流の推進(Caravan)。International Energy Agency(IEA)の CCUS サミットなど、カーボンリサイクルに関連する国際会議等を通じて、カーボンリサイクルの意義や重要性、開発の進捗を国内外に共有・普及するとともに、研究者による実証研究拠点への往訪や学術的な学会参画等の交流を通じて、ネットワークを構築していく。また、開発主体である事業者や大学・研究機関、初期需要の担い手の一翼である地方自治体等への情報提供・広報を進める。

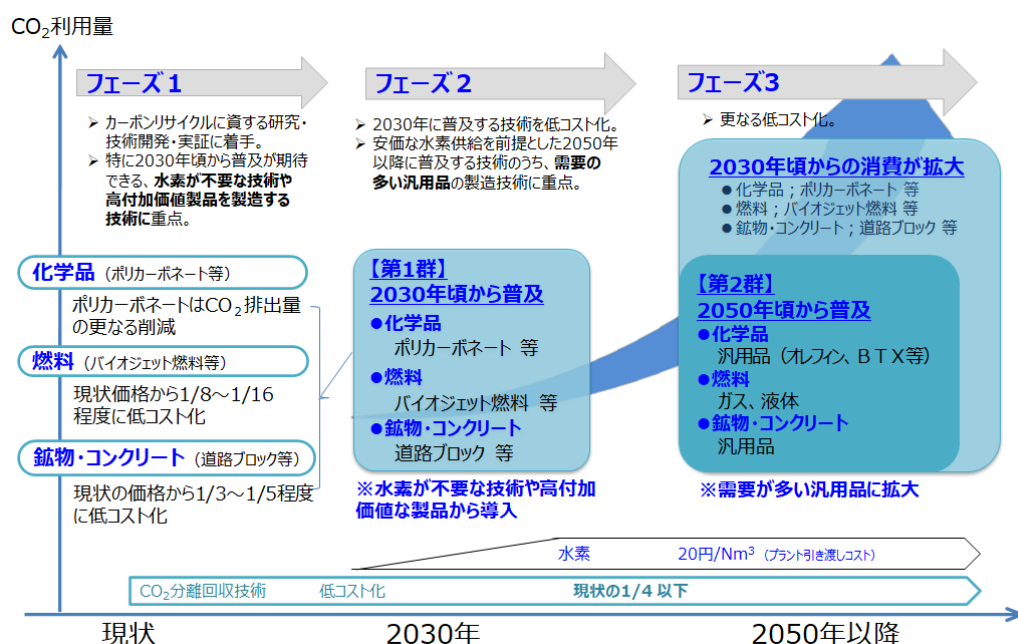
第二に、実証研究拠点の整備 (Center of Research)。CO₂ 分離・回収に着手している実証研究拠点等を中心として、カーボンリサイクル技術の研究・技術開発を進めるとともに、規模拡大・実用化に向けて、テストベッドや標準化検討等の環境整備に取り組む。初期段階として、2019 年 12 月から CO₂ 分離回収の実証を始めた広島県・大崎上島や、CCUS 事業を行っている北海道・苫小牧を実証研究拠点の中核として先行して整備していく。苫小牧では、2020 年 9 月、カーボンリサイクルへの展開を見据え、「苫小牧 CCS 促進協議会」を「苫小牧 CCUS・カーボンリサイクル促進協議会」に改組した。

第三に、国際共同研究の推進 (Collaboration)。第一の相互交流を通じたカーボンリサイクルに係る情報提供・共有等を通じ、産学官のパートナー候補との連携を拡充し、相互に特徴や強みを補完した国際共同研究を追求する。また、そこで得られる成果を積極的に発信していく。

③ カーボンリサイクル技術ロードマップとは何か

カーボンリサイクル技術ロードマップは、主要な戦略分野である化学品、燃料、鉱物の 3 分野について、開発・実用化していく道筋を示したものである。技術・製品の特性を踏まえて、先行して実用化が見込まれる第 1 群と、本格段階で実用化していく第 2 群に分類した上で、3 つの段階に沿って取組を進めていく。第 1 群としては、製造において水素を必要としないものや、高付加価値な製品等 (ポリカーボネート、道路ブロック、ジェット燃料等) を挙げている。また、第 2 群としては、非連続なイノベーションを経て、安価な水素供給 (20 円/Nm³ 程度) を前提として製造され、需要が大きな汎用品 (オレフィン、BTX 等) などを想定している。フェーズ 1 (2020 年以降) では、初期段階としてカーボンリサイクルに資する研究・技術開発・実証、それを進める拠点整備に着手する。続くフェーズ 2 (2030 年頃) では、第 1 群の実用化と第 2 群の製造技術の進展、そしてフェーズ 3 (2050 年以降) では、第 1 群及び第 2 群それぞれにおいて、低コスト化により普及が進むと見込まれる。

図. カーボンリサイクル技術ロードマップ



(2) カーボンリサイクル 3C イニシアティブの進捗

① カーボンリサイクル技術開発・実用化の進捗

まず初めに、カーボンリサイクル 3C イニシアティブの対象となるカーボンリサイクル技術について、進捗の概観を俯瞰する。フェーズ 1 では、化学品、燃料、鉱物の主要 3 分野を中心に、既存の主要企業や Start Ups 等多様な事業者によって、研究・技術開発が本格化している。また、第 1 群については、既に実用化の先行事例が出始めている。

CO₂ 由来の化学品については、既存の化石燃料由来化学品に代替可能であり、CO₂ 削減・固定化につながることで、高付加価値品製造に利用可能であること、新規技術導入による効率向上やコスト低減の可能性があること等から、カーボンリサイクル技術として実現への期待は大きい。一方、現状では基礎研究レベルにある技術も多く、今後重点的に技術開発に取り組むべき分野である。このため、CO₂ 由来の化学品の合成においては、CO₂ や H₂O から基幹物質である CO、H₂ の合成ガスやメタノール等を製造する技術、これら基幹物質から汎用物質であるオレフィンや BTX (ベンゼン・トルエン・キシレン) 等を製造する技術やバイオマス由来の化学品を製造する技術等が基盤となる。これら技術について、高効率な製造技術の開発や、システム全体の最適化を進める。

具体的には、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の事業として、富山大学・日本製鉄等によるパラキシレン合成、三菱ケミカル・東京大学等による人工光合成プロジェクト (二酸化炭素原料化基幹化学品製造プロセス技術開発)、花王・大洋塩ビ・日本製紙を始めとした複数企業によるセルロースナノファイバー (CNF) の技術開発に着手している。

また、第 1 群の技術・製品として、実用化の先行事例が出始めている。例えば、旭化成は、CO₂ を原料とする非ホスゲン法ポリカーボネート製造プロセスを開発・実用化している。本技術によるライセンシーの PC 製造能力は 2019 年には 79 万トンに達し、世界の製造能力の 17% に拡大している。さらに同社は、ポリカーボネート原料のジフェニルカーボネート新製法を量産実証化したほか、世界初となる CO₂ から製造される尿素を原料として用いたウレタン原料 (イソシアネート) の製造技術の開発に着手している。

(参考) カーボンリサイクル関連予算を活用した主な技術開発① (2020年度)

化学品	製品・生成物	開発段階	燃料	製品・生成物	開発段階
富山大、日本製鉄、日鉄エンジニアリング、ハイケム、千代田化工、三菱商事	パラキシレン	基礎 (NEDO)	IHI、三菱パワー、ユーグレナ、bits、ちとせ、電源開発	ジェット燃料 (微細藻類)	基礎～実証 (NEDO)
三菱ケミカル・東大等 (人工光合成プロジェクト)	メタノール/オレフィン	基礎 (NEDO)	INPEX、日立造船	メタン	基礎～実証 (NEDO)
AIST、神戸大学、かずさDNA研究所味の素 (スマートセルプロジェクト)	バイオプラ・医薬品原料 等	基礎～実証 (NEDO)	JPEC	e-fuel製造技術調査	基礎 (NEDO)
花王、大洋塩ビ、日本製紙、宇部興産、東ソー、大王製紙、スギノマシン、AIST、パナソニック、住友ゴム、福井大学等	セルロースナノファイバー	基礎～実証 (NEDO)			
AIST、NITE、静岡県環境衛生科学研究所、東大、愛媛大、島津テクノ、日清紡	海洋生分解性プラ	基礎～実証 (NEDO)			
鉱物	製品・生成物	開発段階	大崎拠点化	製品・生成物	開発段階
出光興産、宇部興産、日揮、成蹊大、東北大	セメント原料	基礎～実証 (NEDO)	大崎クールジェン、JCOAL	拠点整備、研究支援	-
竹中工務店	地盤改良材	基礎～実証 (NEDO)	中国電力、鹿島建設、三菱商事	改良型CO2吸収コンクリート	基礎 (NEDO)
トクヤマ、双日、ナミストテクノロジーズ	炭酸ナトリウム、重曹	基礎～実証 (NEDO)	川崎重工業、大阪大	パラキシレン	基礎 (NEDO)
中国電力、広島大 中国高圧コンクリート工業	緑化基盤材 等	基礎～実証 (NEDO)	中国電力、広島大学	ディーゼル燃料等(菌類)	基礎 (NEDO)
早稲田大、サクラ、日揮	セメント原料 等	基礎～実証 (NEDO)	日本微細藻類技術協会	ジェット燃料(微細藻類)	基礎 (NEDO)
太平洋セメント	セメント原料	基礎～実証 (NEDO)			

CO₂由来の液体燃料については、既存の石油サプライチェーンを活用でき、液体燃料の低炭素化を促進する技術であることから、カーボンリサイクル技術としての実現への期待は大きい。一方で、現状では生産効率やコスト等の面で課題があり、普及に向けて技術開発に取り組む必要がある。このため、液体燃料製造に関する FT 合成など製造プロセスの改善、バイオエタノールなど微生物利用合成ガス製造プロセスの最適化検討等に取り組む。

具体的には、微細藻類を活用したバイオジェット燃料の製造技術については、IHI 等が開発を継続しているとともに、微細藻類技術の向上・標準化等に向けた拠点整備が始まった。e-fuel(液体合成燃料)については、石油エネルギー技術センター(JPEC)が低コスト製造技術の開発に向けた事前調査を進めている。今後、この調査結果等を踏まえ、2020 年内に技術開発を進める予定である。

また、メタンを CO₂ から製造するメタネーション技術開発については、国際石油開発帝石及び日立造船が、規模を現行の 50 倍に拡大した実証試験を計画している。

鉱物分野については、炭酸塩、コンクリート製品・構造物への CO₂ 利用において、CO₂ 固定化のポテンシャルが高いこと、生成物が安定していること、土壌改質への適用も見込めること等から、カーボンリサイクル技術としての実現への期待は大きく、早期の社会実装が望まれる分野である。このため鍵となる技術として、廃コンクリート、石炭灰等の産業副産物、廃鉱物、海水等からの有効成分(Ca や Mg の化合物)の分離、特に微粉化等の前処理や湿式プロセスの省エネ化、骨材や混和材等の開発などの要素技術の開発を進める。また、セメント製造プロセスでの CO₂ 発生

源から製造・供給までの一貫システム構築・プロセスの最適化、用途拡大とコスト低減により、事業性を高める。これら技術開発には、出光興産、宇部興産、日揮、竹中工務店、トクヤマ、中国電力、鹿島建設、太平洋セメント、成蹊大学、東北大学、広島大学、早稲田大学等が参画している。

また、鉱物分野においても、第1群の技術・製品として、先行事例が出始めている。中国電力と鹿島建設が中心となって開発されたCO₂吸収型コンクリート(SUICOM)が一例である。既に製品として出荷されており、今後、更なる低コスト化、用途拡大に向けた開発・実証が進められる。

(参考) カーボンサイクル関連予算を活用した主な技術開発② (2020年度)

基礎・先導研究	製品・生成物	開発段階	CO ₂ 分離・回収	製品・生成物	開発段階
JCOAL、慶應義塾大学 東京理科大学	ダイヤモンド電極を活用 CO ₂ 電気還元により 基幹物質を製造	基礎 (NEDO)	大崎クールジェン	物理吸収法	実証 (NEDO)
電力中央研究所、東京工業大学	CO ₂ 電解リバーシブル 固体酸化物セル開発	基礎 (NEDO)	川崎重工業、RITE	化学吸収法(固体)	実証 (NEDO)
AIST、同志社大学	高温溶解塩電解を 利用したCO ₂ 還元・分解	基礎 (NEDO)	住友化学、RITE	膜分離法(有機膜)	実証 (NEDO)
東芝エネルギーシステムズ、九州大学	CO ₂ /H ₂ O共電解	基礎 (NEDO)	日本製鉄、日鉄エンジニアリング、神戸製鋼 JFEスチール	化学吸収法 高炉からCO ₂ を分離回収	実証 (NEDO)
東海国立大学機構、澤藤電機 川田工業	放電プラズマによる CO ₂ 還元・分解	基礎 (NEDO)	その他	製品・生成物	開発段階
電力中央研究所、慶應義塾大学	中低温イオン液体を用いた 尿素電解合成	基礎 (NEDO)	日本CCS調査、三菱パワー、 三菱エンジニアリング、三菱ガス化学	CCS実証/メタノール	実証/調査 (NEDO)
住友大阪セメント、山口大学 九州大学	カルシウム含有廃棄物から のカルシウム抽出、 CO ₂ 鉱物固定化	基礎 (NEDO)	日本CCS調査	二酸化炭素貯留ポテンシャル	調査
MHPS、電力中央研究所、東洋建設 JCOAL	石炭灰及びバイオマス灰 によるCO ₂ 固定・活用	基礎 (NEDO)	公募中	JCM化を含む低炭素化技術 の活用案件発掘・調査	調査
神鋼環境ソリューション、岡山大学、 理化学研究所	金属ナトリウム分散体 によるカルボン酸合成	基礎 (NEDO)	日揮、JXTG、TCV	CO ₂ 圧入による原油増産の ためのCO ₂ 分離技術	実証
三菱ガス化学、日本製鉄、日鉄エンジニア 東北大学	CO ₂ 利用ポリカーボネート 製造用中間体	基礎 (NEDO)	公募中	カーボンニュートラル技術	基礎
			公募中	国際共同研究	基礎

更に、民間主導でのカーボンサイクルに係る取組として、2019年8月、一般社団法人カーボンサイクルファンド(CRF)が設立された(会長;小林喜光・三菱ケミカルホールディングス取締役会長)。CRFには、カーボンサイクルが有する多様なポテンシャルを反映して、化学、鉄鋼、建材、燃料、エンジニアリング等各分野のメーカー等に加え、金融機関、商社、大学など61社9個人(2020年8月時点)が参画している。CRFの主な活動内容は、①実用化に向けた研究に対する助成、②カーボンサイクルに関する広報・普及、③政策提言・調査等である。

一般社団法人カーボンリサイクルファンド

- **カーボンリサイクルの取組を加速化**するため、一般社団法人**カーボンリサイクルファンド**が民間主導で2019年8月に設立。会員61社9個人（2020年8月時点）。
- 具体的には、①実用化に向けた**研究に対する助成**、②カーボンリサイクルに関する**広報・普及**、③**政策提言、実態調査**等

会 長：小林 喜光（三菱ケミカルホールディングス取締役会長）
副会長：北村 雅良（電源開発特別顧問）

株式会社IHI、出光興産株式会社、伊藤忠商事株式会社、宇部興産株式会社、AGC株式会社、株式会社在原製作所、大森建設株式会社、川崎重工業株式会社、株式会社神戸製鋼所、国際石油開発帝石株式会社、コスモ商事株式会社、株式会社サンフレア、JSR株式会社、清水建設株式会社、住友大阪セメント株式会社、住友重機械工業株式会社、住友商事株式会社、一般財団法人石灰エネルギーセンター、石油資源開発株式会社、大日本印刷株式会社、株式会社大和証券グループ本社、地熱技術開発株式会社、千代田化工建設株式会社、デンカ株式会社、電源開発株式会社、一般財団法人電力中央研究所、東亜建設工業株式会社、東京エコーサービス株式会社、東京ガス株式会社、東京産業株式会社、学校法人東京理科大学、東洋エンジニアリング株式会社、東レ株式会社、凸版印刷株式会社、日揮グローバル株式会社、日産自動車株式会社、日鉄エンジニアリング株式会社、日本製鉄株式会社、一般財団法人日本エネルギー経済研究所、BASFジャパン株式会社、日立造船株式会社、株式会社日立パワーソリューションズ、株式会社日立プラントサービス、株式会社福岡建設合材、株式会社アソウ、株式会社フューチャーエースト、古河電気工業株式会社、丸紅株式会社、みずほ情報総研株式会社、株式会社みずほフィナンシャルグループ、三井物産株式会社、株式会社三井住友銀行、三菱ガス化学株式会社、三菱ケミカル株式会社、三菱重工業株式会社、三菱商事株式会社、三菱マテリアル株式会社、株式会社三菱UFJ銀行、株式会社ユグレナ、若築建設株式会社

このうち研究助成については、2020年度、第一弾として大学等を中心に12件の研究事業を採択した（新規触媒の開発、含酸素化学品合成、カーボンリサイクル・コンビナートの実現に向けた研究等）。これらの早期実用化や国際共同研究への展開が期待される。

（参考）カーボンリサイクルファンドによる採択案件（2020年度）

採択	申請分野	研究課題名	研究代表者名（所属機関）
採択	リサイクル（化学品）	IGCC+CCS への新規低温メタノール合成触媒適応研究	米山 嘉治（国立大学法人富山大学）
		バイオマスとCO ₂ からの含酸素化学品合成	崔 準哲（国立研究開発法人産業技術総合研究所）
		Discovering Inexpensive, Effective Novel Catalysts for Electrochemical CO ₂ Conversion: Towards Value-Added Chemical Production	Song Juntae (Kyushu University)
	リサイクル（燃料）	バイオマス、褐炭と金属媒体を用いたCO ₂ の高効率変換	蘆田 隆一（国立大学法人京都大学）
		CO ₂ 水素化反応の低温化を可能とする新規膜反応器の開発	古澤 毅（国立大学法人宇都宮大学）
		リサイクル（生物の活用）	バイオ燃料と高付加価値商品の同時生産のためのパラクロレラの育種
社会科学（CR導入促進シナリオ）	二酸化炭素を有機酸に変換する生物電気化学技術	片山 新太（国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学）	
	重イオンビーム照射による早生樹の育成に関する基盤技術の開発	阿部 知子（国立研究開発法人理化学研究所）	
	正味ゼロ排出に向けたカーボンリサイクル技術イノベーションシナリオ分析	加藤 悦史（一般財団法人エネルギー総合工学研究所）	
条件付き採択	分離回収等（CO ₂ 吸着材）	劣質炭素資源からのCO ₂ 吸着剤の開発	望月 友貴（国立大学法人北海道大学）
	社会科学（CR導入促進シナリオ）	瀬戸内「カーボンリサイクルコンビナート」の実現に向けた研究	市川 貴之（国立大学法人広島大学）
	社会科学（その他）	水素供給に伴うGHG排出量の調査及び評価	稲葉 敦（一般社団法人日本LCA推進機構）

② カーボンリサイクル 3C イニシアティブの進捗

1) Caravan (相互交流の推進)

多国間枠組みを通じた相互交流として、2019年6月、軽井沢において「G20 持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会合」が開催され、この中で、日本は議長国として、カーボンリサイクルのコンセプトを打ち出した。同会合においては、エネルギー分野において、エネルギー転換の推進力としてのイノベーションの重要性について共通認識を得るとともに、水素や CCUS、特に日本が提案しているカーボンリサイクルなど、様々な分野でのイノベーション推進の重要性を共有した。G20 と back to back で行われた各国とのバイ会談においては、日本は積極的にカーボンリサイクルの可能性について言及し、各国からも賛同を得た。

G20 でのカーボンリサイクルの輪の広がりを皮切りに、その後も国際協力は進展していく。2019年9月には、カーボンリサイクルに特化した世界で初となる「カーボンリサイクル産学官国際会議 2019」を東京で開催した。産学官のカーボンリサイクル関係者の叡智が集まり、20カ国・機関が参加して、温暖化問題への対応が強く求められている中、環境と成長の好循環の実現に向け、カーボンリサイクルに向けたイノベーションや国際協調の重要性について議論が展開された。

中でも、前述のとおり、菅原前経済産業大臣から、「相互交流の推進 (Caravan)」、「実証研究拠点の整備 (Center of Research)」、「国際共同研究の推進 (Collaboration)」からなる「カーボンリサイクル 3C イニシアティブ」が発表され、特に、Collaboration に関しては、今回の国際会議の機会を捉え、菅原前大臣とオーストラリア連邦キャナバン資源・北部豪州担当大臣(当時)との間で、Collaboration の第一号案件として、定期協議の開催や研究開発の共有、国際フォーラムでの協力等を含む協力覚書に署名した。

2019年12月には、IEA 閣僚理事会の開催に合わせ、CCUS サイドイベントを開催し、松本前経済産業副大臣と米エネルギー省ギャリッシュ次官補が共同議長となり、IEA のビロル事務局長をはじめとする IEA 加盟国や関係企業が関係者参加の下、カーボンリサイクルに関する議論が活発に行われた。この中で、重要なことはイノベーションであり、各国が協力してソリューションを創出することの重要性が確認された。

2020年1月には、UAE で開催されたワールド・フューチャー・エネルギー・サミットにおいて、日本のカーボンリサイクル技術を集め、国際展示を実施した。CO₂ 分離・回収から、CO₂ が鉱物、燃料、化学品と価値のある製品に変化している姿は、多くの人々の注目を集め、好評を博した。こうした取組が、今後の新しい Collaboration を生み出す土台となることを期待する。

2020年3月には、外務省が在京外交団を対象としたCCUS／カーボンリサイクルスタディーツアーを開催。5か国の大使館から参加があり、大学教員・学生、企業関係者も含め約30名が参加し、カーボンリサイクルについて、日本の最先端の研究を視察するとともに、活発な議論が行われた。

こうした活動を背景として、日本は、米国、豪州、サウジアラビア、カナダ、ポーランド等との間で、二国間会談を通じ、カーボンリサイクルの重要性を改めて確認した。

2) Center of Research (実証研究拠点の整備)

経済産業省及びNEDOは、2020年8月、実証研究拠点の整備に着手した。具体的には、既にCO₂の分離・回収が行われている広島県・大崎上島を拠点として整備する事業に着手し、バイオ燃料、化学品、炭酸塩など多岐に亘る研究開発を行うとともに、国内外に向けたショーケース化を目指している。事業期間は2020年度から2024年度までの5年間、事業規模は、拠点整備と技術開発を合わせて総額約85億円を予定している。

まず、2020年度から2021年度にかけては、大崎クールジェン及び一般財団法人石炭エネルギーセンター(JCOAL)が中心となり、拠点のインフラを整備する。この中で、大崎クールジェンで分離・回収したCO₂を実証拠点まで輸送するパイプラインの敷設やユーティリティの整備、整地等を進める。拠点内は、「基礎研究エリア」、「実証研究エリア」、「藻類研究エリア」の3区域を計画している。

このうち、「基礎研究エリア」及び「実証研究エリア」では、CO₂を利用した炭酸塩や化学品製造の技術開発、バイオプロセスの活用など幅広い研究開発を行う。

化学品分野については、川崎重工業と大阪大学が中心となり、将来的に需要増が見込める化学品、パラキシレンの製造プロセスを構築する。CO₂からメタノールを合成し、更にメタノールからパラキシレンを選択的に合成して収率を上げる触媒を開発し、石油化学由来のパラキシレンに比べてCO₂排出負荷を低減する技術を構築する。

鉱物分野については、市場規模の大きい現場打設や鉄筋に適用可能なCO₂有効利用コンクリートの研究開発を実施する。既存のCO₂吸収型コンクリート(SUICOM)は、技術的制約から用途が限定されているため、炭酸化の最適化などの技術開発により、用途拡大やコスト低減を目指す。

このほか、微生物を用いたCO₂固定化技術のシステム構築を実施する。具体的には、微生物を用いてCO₂を固定化して酢酸を生成するプロセスと、その酢酸から高付加価値脂質や化学品原料などを合成するプロセスからなる二段階の発酵技術を開発する。

「藻類研究エリア」では、微細藻類に係る研究拠点を整備する。CO₂を吸収する微細藻類を大規模に培養し、そこから油分を抽出し、バイオジェット燃料を製造する技術である。この事業は、微細藻類に取り組む事業者により構成される一般社団法人日本微細藻類技術協会が取り組む、基盤的な事業である。基盤技術の成果を着実に製品・市場に結び付けるべく、規模拡大のためのテストベッドの整備、標準・規格の整備などを進め、産業化につなげていく。

これら事業を含めて、カーボンリサイクル関連の技術開発全体としては、総額 437 億円規模のプロジェクトが始動している。大崎上島の実証研究拠点は、これらプロジェクト全体の結節点となり、産業技術総合研究所・ゼロエミッション国際共同研究センター（Global Zero Emission Research Center; GZR）をはじめとする国内外の研究機関や事業者との相互交流・マッチングを通じて、カーボンリサイクルに係るイノベーションを加速し、その成果を発信していく役割が期待される。

広島・大崎上島「カーボンリサイクル実証研究拠点」

- 広島・大崎上島において、現在、石炭ガス化複合発電（IGCC）と石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）^(※)の実証を実施中。2019年12月、**CO₂分離回収の実証試験を開始**。
- 本実証で回収する**CO₂を活用し、カーボンリサイクル技術の実証研究拠点を整備**予定。
 - ✓ CO₂の炭酸塩化を利用したコンクリート製品等を製造
 - ✓ 微細藻類や触媒等を利用してCO₂から化学品や燃料等を製造

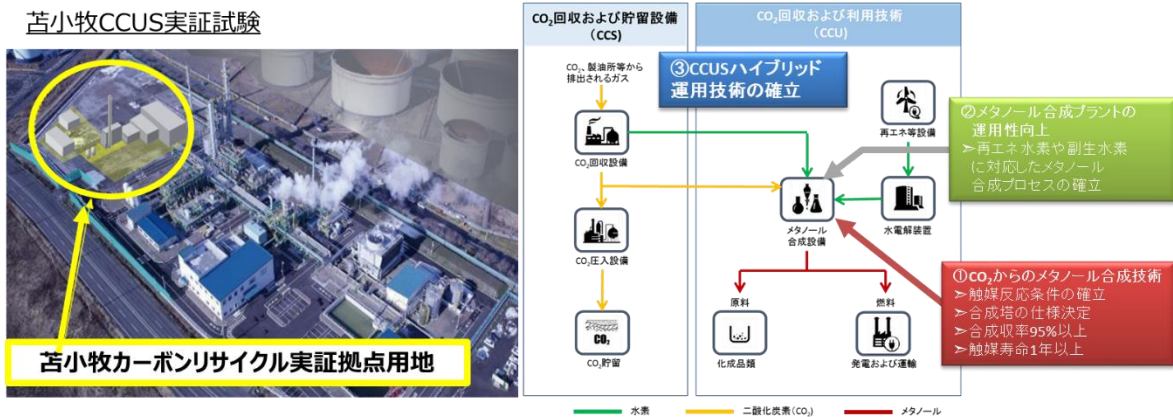
(※) IGCCは、石炭をガス化した上で燃焼させて発電する技術。ガスタービン発電と蒸気タービン発電を複合させることで高効率化が可能。IGFCは、IGCCに燃料電池を組み合わせたトリプル複合発電方式で、IGCCに比べ高効率の発電が可能。



また、経済産業省及び NEDO は、北海道苫小牧市において、分離回収した CO₂を地中に貯留する大規模実証事業を進め、目標として 30 万 t の CO₂ 圧入を達成した。現在は、CCS 地点のモニタリングを継続するとともに、回収した CO₂ の有効利用（メタノールといった基幹物質の合成等）に関する調査を進めている。

苫小牧におけるCCUS大規模実証試験事業

- 実用規模でのCCS実証を目的とした、我が国初の大規模CCS実証試験。
- 2016年度からCO₂圧入を開始し、2019年11月に累計圧入量30万トンを達成。
- 今後は苫小牧CCS設備を有効活用し、カーボンサイクルの展開を進めていく為、現在、カーボンサイクルメタノール合成実証の実現可能性調査を実施中。
- 2020年9月に苫小牧市長が会長を務める「苫小牧CCS促進協議会」が、今後のカーボンサイクルへの展開を見据え「苫小牧CCUS・カーボンサイクル促進協議会」へ改組。



3) Collaboration (国際共同研究の推進)

日本は、Caravan による相互交流を背景として、カーボンサイクルに係る国際共同研究を広げている。

例えば、豪州との間では、前述のとおり、第1回カーボンサイクル産学官国際会議の機会を捉え、協力覚書に署名した。協力内容としては、定期協議の設置、研究成果の共有・技術ロードマップ改定に向けた議論、日豪間での共同プロジェクトの可能性の検討等を挙げている。日豪間では、この覚書に基づき、2020年6月、日本の国際石油開発帝石 (INPEX) と豪州政府系研究機関CSIRO が、メタネーションに関するプレF/Sを締結した。INPEX は現在、新潟県長岡において、8Nm³-CO₂/h 規模の実証を進めており、今後、規模を拡充しつつ、ガス田から排出されるCO₂の利用に向けて、調査・検討を進めていく。

また、こうした検討を更に深める環境整備の一環として、2020年9月、日豪の産学官の参画 (日本側は、経済産業省、NEDO、地球環境産業技術研究機構 (RITE)、豪州側は、Department of Industry, Science, Energy and Resources (DISER), Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) 等) により、Web 上で、研究成果の共有を目的としたワークショッ

プを開催し、連携を強化している。今後、ここでの議論を踏まえ、更なる共同研究の深化を進めていく。

米国との間では、化石燃料の活用を含めたエネルギー戦略を共有し、具体的な連携を進めている。2019年6月には、JCOALとワイオミング州・コロンビア大学との間において、カーボンリサイクル協力に関するMOUが締結された。こうした事例を積み重ねつつ、カーボンリサイクル産学官国際会議の参加国をはじめとする国々と、国際共同研究の連携を拡大・深化しつつある。

3. カーボンリサイクルの今後の展開

カーボンリサイクルについては、パリ協定の目標達成に向けた現実解の一つとして、既存インフラの活用という特徴により、多様な業種、多様な事業者、多様な分野における取組が活発になり、そのうねりが急速に拡大している。こうした中、日本は、このモメンタムを更に拡大していくべく、「カーボンリサイクル 3C イニシアティブ」に基づき、国際連携を深めながらカーボンリサイクル技術の開発・実用化に戦略的に取り組んでいく。

相互交流(Caravan)については、マルチの交流機会として、経済産業省及びNEDOは2020年10月13日、東京ビヨンド・ゼロ・ウィークの一環として、第2回カーボンリサイクル産学官国際会議2020をWeb開催する。この場において、世界各地の第一線で活躍する産学官の関係者と、認識・情報を共有し、カーボンリサイクル技術の開発・実用化に向けた取り組みを加速する。

この会議では、第一のテーマとして「カーボンリサイクルによるゼロエミッション化の追求」と題し、政策・技術・市場化に係る課題解決に向けて世界の叡智を結集し、発信する。その上で、第二のテーマとして「現実解としてのカーボンリサイクルの可能性」を掲げ、カーボンリサイクルの主要分野における事業化に向けた検討を深めていく。また、会議での議論に加え、関連する産学官の動きを、ウェブサイト等を通じて世界に発信する。さらに、並行して二国間協力を拡大し、MOCの締結、それに基づくワークショップ等の開催、情報共有・交流を促進する。

拠点整備(Center of Research)については、広島県・大崎上島及び北海道苫小牧の実証研究拠点を先行的に整備するとともに、カーボンリサイクル技術開発全体の状況・成果を、国内外に広く発信していく。また、開発・実用化の過程において、地元自治体との連携を深め、地域振興との相乗効果を追求する。さらに、カーボンリサイクルに関連する国内外の技術開発拠点(東京湾岸ゼロエミベイ、福島県浪江の福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)等)との連携を深める。

国際共同研究(Collaboration)については、Caravan による相互交流と Center of Research による拠点整備を背景として、カーボンリサイクルに係る国際共同研究を拡大・深化していく。昨年 MOC を締結した豪州に加え、第 2 回国際会議の機会を捉えて米国とも新たに MOC 締結し、産学官における共同研究の機会を拡大していく。

これまで述べてきたように、カーボンリサイクルは、様々な要素技術を組み合わせることで、新しい価値を生み出す、イノベーティブな分野である。日本としては、この特徴を生かし、カーボンリサイクル 3C イニシアティブに基づき、産学官における国際連携を通じて、カーボンリサイクルの開発・実用化を加速する。こうした取組を重ねながら、エネルギーの安定的かつ安価な供給を確保しつつ、非連続なイノベーションを通じて環境と成長の好循環の実現に貢献していく。